

# Analisa Karakteristik Biomasa untuk *Cofiring* pada Pembangkit Batubara di Indonesia

Zainal Maskur<sup>1</sup> dan Ardi Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>PT. Pembangkitan Jawa Bali

E-mail: [maskurzainal@gmail.com](mailto:maskurzainal@gmail.com)

## ABSTRACT

Indonesian government has commitment to climate change to reduce greenhouse gas emissions, Indonesian government targeting to achievement of the national energy mix for renewable energy 23% in 2025, where achieved 12.36% in 2019. Therefore, the government through PT. PLN creates a *cofiring* program for coal power plants. The potential biomass in Indonesia is very much and its many types has different characteristics and properties, so needed a detail analysis of potential risks and compatibility with the boiler type. The types of biomass in this research are wood chips, sawdust, wood pellets, rice husk, palm kernel shells, empty fruit bunch pellets and doing *cofiring* with High Volatile B&C Bituminous Coal. The analysis stage starts with laboratory tests to know chemical properties, and next doing analysis for potential slagging, fouling, corrosion, abrasion and agglomeration in single fuel combustion simulations and *cofiring* 5% and 10% simulations. The analysis results show the sulfur content biomass (0.05-0.09%) is smaller than coal (0.11-0.63%), so that biomass will be produces lower SO<sub>2</sub> emissions and this is environmentally friendly. Calorific value biomass is very varies depending on the type of biomass and trend biomass have a higher volatile matter and oxygen content than coal. Analysis result on single combustion fuel have the highest slagging potential for palm kernel shell, high fouling potential in coal, sawdust, wood pellets and EFB pellets which have severe fouling potential. High corrosion potential occurs in sawdust, rice husks, palm kernel shells and severe corrosion potential on EFB pellets. For abrasion potential in rice husk is severe. And for agglomeration potential all biomass and coal average in medium range, but for wood chips, wood pellets and PKS have nearly high potential. In *cofiring* combustion, potential for high slagging when *cofiring* 10% EFB pellets with C bituminous coal. For fouling potential is high in all biomass when *cofiring* 5% and 10% with B&C bituminous coal. For corrosion potential, abrasion and agglomeration in the low to medium range. The potential risk will be higher if the *cofiring* percentage is higher than 10%.

**Keywords:** *cofiring*, biomass, slagging, fouling, corrosion, abrasion, agglomeration

## ABSTRAK

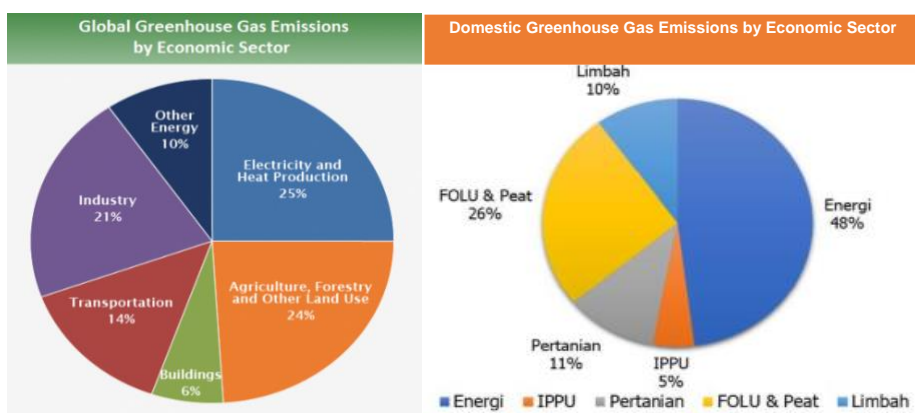
Sebagai komitmen pemerintah Indonesia terhadap perubahan iklim untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, pemerintah menargetkan pencapaian bauran energi nasional untuk EBT pada tahun 2025 sebesar 23%, dimana sampai dengan tahun 2019 masih tercapai 12,36%. Oleh sebab itu pemerintah melalui PT. PLN membuat program *cofiring* pada pembangkit batubara. Potensi biomasa di Indonesia yang melimpah dan banyak jenisnya mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda-beda, sehingga memerlukan analisa lebih dalam terkait potensi risiko dan kesesuaian dengan tipe boiler pembangkit. Beberapa *sample* biomasa yang dianalisa dalam penelitian ini adalah *wood chip*, *sawdust*, *wood pellet*, sekam padi (*rice husk*), cangkang sawit (*palm kernel shell*), *pellet* tandan kosong kelapa sawit (*empty fruit bunch*) yang di *cofiring* dengan batubara *High Volatile B&C Bituminous*. Tahapan analisa dimulai dari uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat kimianya dilanjutkan dengan analisa potensi terjadinya *slaging*, *fouling*, *corrosion*, *abrasion* dan *agglomeration* pada simulasi pembakaran *single fuel* dan *cofiring* 5 dan 10%. Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan sulfur biomasa (0,05-0,09%) jauh lebih kecil dibandingkan dengan batubara (0,11-0,63%), sehingga biomasa mengasilkan emisi SO<sub>2</sub> yang lebih rendah dan ramah lingkungan. Nilai kalor biomasa relatif bervariasi tergantung dari jenis biomasanya dan kecenderungan memiliki kandungan *volatile matter* dan *oxygen* yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara. Hasil analisa pada *single combustion fuel* potensi terjadi *slaging* yang paling tinggi pada cangkang sawit, potensi *fouling* tinggi pada batubara, *sawdust*, *wood pellet* dan *pellet EFB* mempunyai potensi *fouling* yang parah. Potensi korosi tinggi terjadi pada *sawdust*, sekam padi, cangkang sawit dan potensi korosi parah pada *pellet EFB*. Potensi *abrasion* parah terjadi pada sekam padi. Sedangkan potensi *agglomeration* rata-rata dalam range medium, tetapi *wood chip*, *wood pellet* dan PKS mempunyai potensi yang mendekati tinggi. Pada pembakaran *cofiring* potensi terjadinya *slaging* tinggi terjadi ketika *cofiring* 10% *pellet EFB* dengan batubara *bituminous C*. Potensi terjadinya *fouling* tinggi pada semua biomasa ketika *cofiring* 5 dan 10% dengan batubara *bituminous B&C*. Sedangkan untuk potensi terjadinya *corrosion*, *abrasion* dan

*agglomeration* dalam range rendah sampai dengan *medium*. Potensi risiko akan lebih tinggi jika prosentase *cofiring* lebih tinggi dari 10%.

**Kata kunci:** *cofiring, biomass, slagging, fouling, corrosion, abrasion, agglomeration*

## PENDAHULUAN

Pada COP-17 (*Conference Of the Parties*) di Paris tahun 2015, Indonesia telah meningkatkan komitmennya untuk mengurangi tingkat emisi GRK (Gas Rumah Kaca) sebanyak 29% dengan usaha sendiri di bawah BaU (*Business as Usual*) pada tahun 2030 dan 41% jika ada bantuan internasional. Komitmen ini tertuang dalam NDC (*Nationally Determined Contribution*) pertama yang merupakan bagian dari *Paris Agreement*. Persetujuan Paris bertujuan untuk menguatkan respon global terhadap ancaman perubahan iklim dengan menjaga kenaikan pemanasan global kurang dari 2°C dibandingkan masa pra-industrialisasi. Indonesia telah meratifikasi persetujuan Paris melalui Undang Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim [1].



Gambar 1. *Global emissions* 2010 [2] dan *domestic emissions* 2017 [3]

Dari gambar 1 di atas menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> secara global pada tahun 2010 yang paling besar berasal dari sektor pembangkit listrik dan produksi panas, demikian juga secara domestik penyumbang terbesar juga dari sektor energi. Oleh sebab itu untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dari sektor pembangkit listrik pemerintah telah menargetkan pencapaian bauran energi nasional untuk EBT (Energi Baru Terbarukan) pada tahun 2025 adalah sebesar 23%, dimana sampai dengan tahun 2019 masih tercapai 12,36% [4].

Sebagai percepatan pencapaian bauran energi nasional pemerintah melalui PT. PLN membuat program *cofiring* pada pembangkit batubara [4]. *Cofiring* adalah mencampur batubara dan biomasa dengan prosentase tertentu yang kemudian dibakar dalam *boiler*. *Cofiring* telah banyak dilakukan pada pembangkit batubara didunia. Keuntungan *cofiring* adalah investasi yang relatif rendah dibandingkan dengan investasi pembangunan pembangkit biomasa baru, disamping itu biomasa lebih ramah lingkungan karena termasuk energi terbarukan. Di Indonesia potensi pemanfaatan biomasa cukup banyak, sedangkan pemanfaatannya masih relatif kecil.

Potensi biomasa di Indonesia yang melimpah dan banyak jenisnya mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda-beda pula, sehingga memerlukan analisa lebih dalam terkait kesesuaian dengan tipe *boiler* pembangkit serta identifikasi potensi dampak yang ditimbulkan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Cofiring

*Cofiring* biomasa dan batubara menawarkan beberapa manfaat lingkungan antara lain mengurangi emisi karbon dioksida, gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap efek pemanasan global. Selain itu, biomasa mengandung *sulfur* yang jauh lebih sedikit daripada kebanyakan batubara. Artinya *cofiring* akan mengurangi emisi gas *sulfur* seperti *sulfur dioksida* yang kemudian akan mengurangi hujan asam. Hasil pengujian awal dengan *cofiring* biomasa kayu menunjukkan potensi pengurangan oksida nitrogen sebesar 30%, yang dapat menyebabkan polusi asap dan ozon [5].

### Biomass

*Biomass* adalah material organik yang berasal dari tanaman atau binatang. Bahan bakar biomasa mencakup limbah kayu (serbuk gergaji, bekas serutan, serpihan, kulit kayu, perkebunan kayu bakar, residu hutan), limbah pertanian (sekam padi, jerami, pangkasan tanaman perkebunan, tongkol jagung), rerumputan, kotoran hewan dan bahan lainnya. Biomasa dibagi menjadi 2, yaitu: 1) biomassa murni yang didalamnya termasuk kayu, tumbuhan, daun (*lignoselulosa*), tanaman dan sayuran (karbohidrat); 2) biomassa limbah yang didalamnya termasuk limbah padat dan cair (limbah padat kota), kotoran, kotoran hewan, kotoran manusia, gas yang berasal dari penimbunan (terutama metana), dan limbah pertanian.

Penggunaan bahan bakar biomasa memberikan manfaat yang baik sejauh menyangkut lingkungan. Biomasa menyerap karbon dioksida selama pertumbuhan, dan mengeluarkannya selama pembakaran. Oleh karena itu, biomasa membantu daur ulang karbon dioksida di atmosfer dan tidak berkontribusi pada efek gas rumah kaca.

### Analisa Laboratorium Batubara dan Biomasa

Metode pengujian yang dilakukan pada batubara dan biomasa adalah sama. Karakteristik yang perlu diperhatikan adalah kandungan *sulfur* dan nitrogen, nilai kalor, kadar air, kadar abu, bahan kimia, grindabilitas, *volatile matter*, abu *slagging*, dan karakteristik *fouling*. Analisis didasarkan pada basis yang berbeda tergantung pada situasinya. Umumnya ada empat yang digunakan yaitu *as received*, *air dry*, *dry*, *dry ash free*. Jika menggunakan *as received basis*, maka persamaan *ultimate* dan *proximate* adalah [6]:

$$\textit{Ultimate} \quad : C + H + O + N + S + A + M = 100\% \dots\dots (1)$$

$$\textit{Proximate} \quad : VM + FC + M + A = 100\% \dots\dots (2)$$

Abu batubara hampir seluruhnya terdiri dari oksida logam. Komposisinya bervariasi dalam rentang yang luas, dan tidak ada analisis abu yang tipikal. Analisis kimiawi abu batubara memberikan data untuk memperkirakan karakteristik abu batubara dan slag, serta menghitung berbagai parameter korelasinya. Analisis kimiawi abu batubara dinyatakan sebagai persen massa dari setiap oksida ekuivalen dan umumnya dinyatakan sebagai [6]:

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3 = 100\% \dots\dots (3)$$

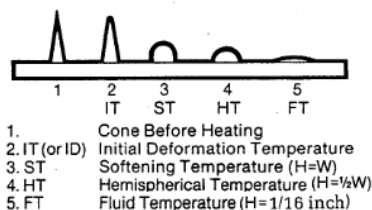
Konstituen oksida asam  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{TiO}_2$  yang ditemukan dalam abu batubara umumnya dianggap menghasilkan suhu leleh yang tinggi. Suhu akan diturunkan secara proporsional dengan jumlah relatif oksida basa,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$  yang tersedia dalam reaksi abu.

Tidak kalah penting parameter yang utama pada bahan bakar adalah *heating value*. *Heating value* adalah jumlah panas yang dikeluarkan oleh 1 kg bahan bakar bila bahan bakar tersebut dibakar. Pada gas hasil pembakaran terdapat  $\text{H}_2\text{O}$  yang terbentuk sebagai cairan kemudian diukur nilai kalornya maka disebut HHV (*High Heating Value*), sedangkan jika yang diukur saat  $\text{H}_2\text{O}$  terbentuk sebagai uap kemudian diukur nilai kalornya maka disebut LHV (*Low Heating Value*). Persamaan untuk menghitung nilai kalor adalah ,

$$HHV = 14544 C + 62028 (H_2 - (O_2/8)) + 4050 S \quad (\text{Btu/lb}) \dots\dots (4)$$

$$LHV = HHV - 1049,7 (H_2 \times 8,937 + M) + 264,4 H_2 \quad (\text{Btu/lb}) \dots\dots (5)$$

Untuk identifikasi temperature mulai terbentuknya slaging dan fouling parameter yang umum digunakan adalah Ash Fusion Temperature yang dijelaskan dalam ASTM D1857.



Gambar 2. Critical temperature point as defined in ASTM D1857

**Slagging, Fouling, Corrosion, Abrasion dan Agglomeration**

Slagging dan fouling adalah masalah utama yang dihadapi pada boiler berbahan bakar batubara. Dalam proses pembakaran batubara, materi mineral dalam batubara tiba-tiba dilepaskan dari matrik organiknya dan menjadi salah satu dari tiga bentuk berikut: 1) tetap padat dan melewati boiler sebagai fly ash, 2) meleleh dan menjadi cairan yang pada gilirannya dapat menempel pada permukaan tube dalam tungku, atau 3) menguap dan mengembun pada permukaan yang lebih jauh ke belakang dalam boiler, seperti ke superheater yang menjadi partikel abu terbang. Kemungkinan besar, semua ini terjadi bersamaan dengan reaksi kimia antara konstituen abu, endapan, dan gas buang. Konstituen ini bercampur dan bereaksi satu sama lain dan dengan gas buang untuk membentuk produk pengendapan. Senyawa kompleks yang terbentuk dan interaksi konstituen ini pada suhu tinggi bergantung pada karakteristik fisik dan kimia abu [7].

Beberapa literatur menyebutkan bahwa salah satu masalah cofiring adalah potensi terjadinya korosi lebih tinggi karena komposisi biomasa berbeda dengan batubara, dan sebagai konsekuensinya maka komposisi gas buang juga berbeda. Biomasa (termasuk didalamnya limbah) biasanya mempunyai kandungan chlorine tinggi dan sulfur rendah yang memfasilitasi pembentukan HCl, NaCl dan KCl di zona panas pembakaran [8]. Semua batubara bituminous mengandung sulfur dan logam alkali yang cukup untuk menghasilkan endapan abu korosif pada superheater dan reheater, dan yang mengandung lebih dari 3,5% sulfur dan 0,25% chlorine mungkin akan sangat merepotkan. Pengalaman menunjukkan bahwa laju korosi dipengaruhi oleh temperatur tube boiler dan temperatur gas [9].

Pada pembangkit batubara satu masalah besar adalah maintenance repair untuk penggantian part yang disebabkan oleh erosi atau abrasi yang disebabkan oleh batubara dan ash. Abrasi adalah efek amplas dari partikel padat yang bergerak sejajar dan bersentuhan dengan permukaan tube boiler. Sedangkan erosi terjadi dari dampak energi partikel yang menghantam dinding dan memotong bagian dari tube boiler.

Sedangkan pada boiler dengan tipe circulating fluid bed boiler, bubbling fluid bed boiler dan stoker boiler terdapat potensi terjadinya aglomerasi. Hal ini terjadi karena proses sintering pada partikel yang mengikat satu sama lainnya sehingga dapat menjadi partikel lebih padat dan keras atau disebut aglomerasi. Agglomeration index memberikan indikasi terbentuknya sintering ash dan agglomeration selama proses konversi panas.

Banyak rumus empiris telah dikembangkan untuk secara kualitatif menentukan potensi slagging, fouling, corrosion, abrasion dan agglomeration.

Tabel 1. Persamaan Slagging, Fouling, Corrosion, Abrasion dan Agglomeration

Indication	Formula	Standard Risk Criteria				Ref.
		Low	Med.	High	Severe	
Base to Acid Ratio	$\frac{B/A}{\frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}}$	-	-	-	-	[10]
Bituminous ash	$Fe_2O > CaO + MgO$	-	-	-	-	[10]
Lignitic ash	$Fe_2O < CaO + MgO$	-	-	-	-	[10]
Slagging Index (bituminous ash)	$Rs = \frac{B}{A} \cdot S$	< 0,6	0,6-2	2-2,6	> 2,6	[10]
Slagging Index (lignitic ash)	$Rs = \frac{(Max HT + 4 \times (Min IT))}{5}$	> 1343	1232-1343	1148-1232	<1148	[10]
Fouling Index (bituminous ash)	$Rs = \frac{B}{A} \times Na_2O$	< 0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	>1,0	[10]
Fouling Index (lignitic ash)	$CaO + MgO + Fe_2O_3 > 20\%$	Na2O <3	Na2O <3	Na2O= 3-6	Na2O> 6	[10]
	$CaO + MgO + Fe_2O_3 < 20\%$	Na2O <1,2	Na2O <1,2	Na2O= 1,2-3	Na2O> 3	[10]
Corrosion potency	$\frac{S/32,07}{Cl/35,45}$	>2	2-4	<2	-	[11]
Abrasion potency	$Al = qc + 0,5 \times pc + 0,2 \times A$ $qc = 0,01 \times A \times (SiO_2 - 1,5 \times Al_2O_3)$ $pc = 0,2 \times (S - 0,3)$ $A = \text{ash total coal}$	< 4	4 - 8	8 - 12	> 12	[12]
Agglomeration Index	$Ra = \frac{Fe_2O_3}{Na_2O + K_2O}$			< 0,15		[13]

**METODE**

Metode dalam penelitian ini adalah dengan mengambil beberapa *sample* batubara dan biomasa kemudian dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat kimianya dan dilanjutkan dengan simulasi pencampuran antara batubara dan biomasa dengan prosentase 5% dan 10%. Dari hasil tersebut selanjutnya dapat diidentifikasi potensi dampak terhadap boiler.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Uji Sample Batubara dan Biomasa**

Beberapa *sample* biomasa yang diambil adalah *wood chip*, *sawdust*, *wood pellet*, sekam padi (*rice husk*), cangkang sawit (*palm kernel shell*), *pellet* tandan kosong kelapa sawit / *Pellet EFB* (*empty fruit bunch*). Sedangkan batubara yang dianalisa adalah *High Volatile B Bituminous* dan *High Volatile C Bituminous*.

Tabel 2. Hasil uji sample batubara dan biomasa

Parameters	Unit	HV B Bituminous	HV C Bituminous	Wood chip	Sawdust	Wood pellet	Rice husk	PKS	EFB pellet
<b>Proximate</b>									
Total Moisture	% wt Ar	24,31	35,84	34,57	41,74	5,46	41,74	9,91	13,31
Ash Content	% wt Ar	7,66	2,96	55,43	2,01	1,08	2,01	1,16	1,35
Volatile Matter	% wt Ar	34,43	30,97	9,58	46,25	79,41	46,25	70,73	74,43
Fixed Carbon	% wt Ar	33,59	30,24	0,09	10	14,05	10	18,56	10,91
Total Sulfur	% wt Ar	0,63	0,11	55,43	0,07	0,07	0,07	0,05	0,08

Parameters	Unit	HV B Bituminous	HV C Bituminous	Wood chip	Sawdust	Wood pellet	Rice husk	PKS	EFB pellet
<b>Ultimate</b>									
Carbon	% wt Ar	48,61	43,82	33,49	28,06	47,78	28,06	47,62	41,9
Hydrogen	% wt Ar	3,75	3,37	3,55	3,17	6,07	3,17	5,14	4,6
Nitrogen	% wt Ar	0,63	0,68	0,26	0,15	0,15	0,15	0,26	0,16
Oxygen	% wt Ar	13,95	13,22	27,62	24,8	39,39	24,8	35,87	38,6
HHV (High heating Value)	kCal/kg	4897,00	4199	3093	2694,00	4487,00	2694	4563,00	4048
HGI (Hard. Grind. Index)	Indeks	47	55	26	< 32	< 32	< 32	<32	<32
Bulk Density	kg/m <sup>3</sup>	928,4	926,4	-	140,95	643	140,95	632	-
<b>Ash Fusion T. Reduction</b>									
Initial Deformation	°C	1180	1200	1240	1210	>1500	1210	1180	1280
Softening	°C	1190	1220	1260	1250	>1500	1250	1250	1300
Hemispherical	°C	1210	1240	1270	1270	>1500	1270	1290	1310
Fluid	°C	1230	1250	1290	1290	>1500	1290	1310	1320
<b>Ash Fusion T. Oxidation</b>									
Initial Deformation	°C	1190	1210	-	-	-	-	1240	-
Softening	°C	1210	1240	-	-	-	-	1310	-
Hemispherical	°C	1230	1250	-	-	-	-	1340	-
Fluid	°C	1260	1260	-	-	-	-	1360	-
<b>Ash Analysis</b>									
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% wt	22,94	12,05	5,11	35,24	5,31	35,24	5,67	3,45
SiO <sub>2</sub>	% wt	46,51	53,69	3,96	26	3,56	26	51,84	32,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% wt	11,24	18,42	0,4	12,12	0,92	12,12	4,21	0,67
CaO	% wt	9,58	4,24	55,73	7,25	61,15	7,25	13,88	35,26
MgO	% wt	4,22	4,25	1,63	6,83	2,11	6,83	7,5	11
MnO <sub>2</sub>	% wt	0,348	0,385	1,87	4,02	0,37	4,02	0,22	2,28
TiO <sub>2</sub>	% wt	0,55	0,81	0,37	2,51	0,34	2,51	0,37	0,11
K <sub>2</sub> O	% wt	0,67	1,59	19,97	2,06	12,92	2,06	10,5	0,72
Na <sub>2</sub> O	% wt	0,51	0,79	0,01	0,59	0,82	0,59	0,35	1,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% wt	0,139	0,362	1,65	0,23	0,57	0,23	2,33	1,13
SO <sub>3</sub>	% wt	2,59	3,14	2,9	2,62	9,86	2,62	1,97	2,58
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% wt	-	-	0,03	-	-	-	-	-
Cl <sub>2</sub>	%	0,02	0,02	0,0378	0,10	0,10	0,10	0,10	0,3

Dari hasil uji laboratorium di atas menunjukkan bahwa *High Volatile B Bituminous* dengan nilai kalor 4897 kCal/kg (ar) mempunyai kandungan sulfur 0,63%, sedangkan *High Volatile C Bituminous* dengan nilai kalor 4199 kCal/kg (ar) mempunyai kandungan sulfur 0,11%, hal ini akan berdampak pada emisi SO<sub>2</sub> hasil pembakaran yang tinggi pula. Seperti kita ketahui sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Thermal terjadi pengetatan emisi SO<sub>2</sub> untuk pembangkit listrik dari sebelumnya maksimal 750 mg/Nm<sup>3</sup> menjadi maksimal 550 mg/Nm<sup>3</sup>. Tabel di atas juga menunjukkan bahwa nilai SO<sub>2</sub> pada biomasa di range 0,05-0,09% lebih rendah dibandingkan dengan batubara *High Volatile C Bituminous*, sehingga lebih ramah terhadap lingkungan.

Nilai kalor biomasa relatif bervariasi tergantung dari jenis biomasanya dan kecenderungan memiliki kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, sehingga lebih mudah untuk terbakar. Parameter O<sub>2</sub> biomasa juga kecenderungan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, sehingga membutuhkan udara bakar (*theoretical air*) lebih rendah.


Terdapat beberapa perbedaan lainnya antara batubara dan biomasa yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan *cofiring* yang akan dianalisa lebih lanjut.

**Analisa Sigle Combustion**

Dalam tahap ini akan dilakukan analisa potensi *slagging, fouling, corrosion, abrasive* dan *agglomeration* pada masing-masing bahan bakar jika dibakar secara individu (tidak degan *cofiring*). Dari hasil analisa menunjukkan hasil sebagai berikut,

Tabel 3. Analisa potensi *slagging, fouling, corrosion, abrasive* dan *agglomeration* pada pembakaran individu

<i>Fuel</i>	<i>B/A ratio</i>	<i>Ash type</i>	<i>Slagging index</i>	<i>Fouling index</i>	<i>Corrosion potency</i>	<i>Abrasion potency</i>	<i>Aglom. Index</i>
HV B Bituminous Coal	0,65	<i>bituminous</i>	0,41	36,74	34,83	4,06	19,44
HV C Bituminous Coal	0,31	<i>bituminous</i>	0,03	20,54	6,08	0,77	5,06
Wood chip	17,43	<i>lignitic</i>	1246	62,47	2,63	0,01	0,26
Sawdust	1,28	<i>bituminous</i>	0,09	49,32	0,77	0,45	13,30
Wood pellet	17,08	<i>lignitic</i>	1500	68,57	0,77	0,14	0,39
Rice husk	0,33	<i>bituminous</i>	0,02	21,63	10,18	16,28	18,87
Palm Kernel Shell	0,67	<i>lignitic</i>	1212	27,05	0,55	0,64	0,52
EFB pellet	1,53	<i>lignitic</i>	1286	49,71	0,29	0,60	1,98

Risk Criteria :  
  
 Low  
 Medium  
 High  
 Severe

\*Nilai Standard Risk Criteria mengacu pada Tabel 1

Hasil analisa pada tabel di atas menunjukkan potensi terjadi *slagging* yang paling besar jika dilakukan secara individu adalah pada cangkang sawit, sedangkan potensi *fouling* tinggi pada pembakaran *High Volatile B&C Bituminous Coal, Sawdust, Wood pellet* dan pada pellet tandan kosong kelapa sawit (*Pellet EFB*) mempunyai potensi *fouling* yang parah. Potensi korosi tinggi terjadi pada *sawdust, sekam padi, cangkang sawit (PKS)* dan potensi korosi parah pada pellet tandan kosong kelapa sawit (*EFB*). Potensi *abrasion* parah terjadi pada pembakaran sekam padi. Sedangkan potensi aglomerasi rata-rata dalam *range medium*, tetapi *wood chip, wood pellet* dan *PKS* mempunyai potensi yang mendekati tinggi.

**Simulasi Prosentase Cofiring**


Simulai pembakaran dengan *cofiring* dilakukan dengan menggunakan batubara *High Volatile B Bituminous* dan *High Volatile C Bituminous* dengan prosentase *cofiring* biomasa masing-masing sebesar 5 dan 10%.

Tabel 4 menunjukkan bahwa potensi terjadinya *slagging* tinggi terjadi ketika *cofiring* 10% pellet EFB dan batubara *high volatile C bituminous*. Potensi terjadinya *fouling* tinggi terjadi pada semua biomasa ketika *cofiring* 5-10% dengan batubara *high volatile B&C bituminous*. Sedangkan untuk potensi terjadinya *corrosion, abrasion* dan *agglomeration* dalam *range* rendah sampai dengan medium. Tabel 4 juga memperlihatkan bahwa potensi risiko akan lebih tinggi jika prosentase *cofiring* lebih tinggi dari 10%, hal ini terlihat dari hasil dari *cofiring wood chip, wood pellet* dan *pellet EFB* yang mempunyai potensi *slagging* lebih tinggi dibandingkan dengan *cofiring* 5%.



Tabel 4. Analisa potensi *slagging, fouling, corrosion, abrasive* dan *agglomeration* pada pembakaran *cofiring*

Fuel	B/A ratio		Ash type		Slag. index		Foul. index		Corro. pot.		Abras. pot.		Aglo. index		
	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	
HV B Bitum	Wood chip	0,72	0,80	bitu	bitu	0,43	0,46	38,33	39,92	27,73	22,67	3,78	3,51	12,20	8,69
	Sawdust	0,67	0,70	bitu	bitu	0,40	0,40	37,37	38,00	27,73	22,67	3,82	3,59	18,79	18,21
	Wood pellet	0,72	0,80	bitu	bitu	0,43	0,46	38,33	39,92	27,73	22,67	3,78	3,51	12,20	8,69
	Rice husk	0,63	0,61	bitu	bitu	0,38	0,35	35,98	35,23	34,35	33,83	4,47	4,90	19,41	19,39
	PKS	0,65	0,65	bitu	bitu	0,39	0,37	36,26	35,77	27,69	22,59	3,94	3,81	13,27	9,88
	EFB pellet	0,68	0,70	bitu	bitu	0,41	0,40	37,39	38,04	19,59	13,24	3,90	3,73	18,18	16,98
HV C Bitum	Wood chip	0,37	0,44	bitu	lign	0,04	1239	22,94	25,34	4,98	4,19	1,21	1,13	3,97	3,24
	Sawdust	0,34	0,37	bitu	bitu	0,04	0,04	21,98	23,42	4,98	4,19	1,24	1,19	5,52	5,97
	Wood pellet	0,37	0,44	bitu	lign	0,04	1239	22,94	25,34	4,98	4,19	1,21	1,13	3,97	3,24
	Rice husk	0,31	0,32	bitu	bitu	0,03	0,03	20,59	20,65	6,16	6,25	1,72	2,18	5,40	5,75
	PKS	0,33	0,34	bitu	bitu	0,04	0,04	20,87	21,19	4,93	4,11	1,27	1,25	4,18	3,54
	EFB pellet	0,34	0,37	bitu	lign	0,04	1121	22,00	23,46	3,53	2,46	1,26	1,22	4,95	4,83

Risk Criteria :  

 Low  
 Medium  
 High  
 Severe

\*Nilai Standard Risk Criteria mengacu pada Tabel 1

## KESIMPULAN

Dari sampel biomasa yang dianalisa dalam penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan *sulfur* biomasa (0,05-0,09%) jauh lebih kecil dibandingkan dengan batubara (0,11-0,63%), sehingga biomasa menghasilkan emisi  $SO_2$  hasil pembakaran lebih rendah (lebih ramah lingkungan).
2. Nilai kalor biomasa relatif bervariasi tergantung dari jenis biomasanya dan kecenderungan memiliki kandungan *volatile matter* dan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara.
3. Jika biomasa dibakar secara langsung (*single fuel*) dari analisa menunjukkan bahwa potensi terjadi *slagging* yang paling tinggi pada cangkang sawit, potensi *fouling* tinggi pada *sawdust*, *wood pellet* dan *pellet* EFB mempunyai potensi *fouling* yang parah. Potensi korosi tinggi terjadi pada *sawdust*, sekam padi, cangkang sawit dan potensi korosi parah pada *pellet* EFB. Potensi *abrasion* parah terjadi pada sekam padi. Sedangkan potensi aglomerasi rata-rata dalam *range medium*, tetapi *wood chip*, *wood pellet* dan PKS mempunyai potensi yang mendekati tinggi.
4. Pada pembakaran *cofiring* potensi terjadinya *slaging* tinggi terjadi ketika *cofiring* 10% *pellet* EFB dengan batubara bituminous C. Potensi terjadinya *fouling* tinggi pada semua biomasa ketika *cofiring* 5-10% dengan batubara bituminous B&C. Sedangkan untuk potensi terjadinya *corrosion*, *abrasion* dan *agglomeration* dalam *range* rendah sampai dengan *medium*. Potensi risiko akan lebih tinggi jika prosentase *cofiring* lebih tinggi dari 10%.



---

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. J. Ketenagalistrakan, *Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca*. 2018.
- [2] IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014.
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup, "Inventarisasi gas rumah kaca dan monitoring, pelaporan verifikasi tahun 2018," *Lap. Inventar. Gas Rumah Kaca dan MPV*, 2018.
- [4] PT. Perusahaan Listrik Negara, "Rencana usaha penyediaan tenaga listrik," *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga List.*, pp. 2019–2028, 2019.
- [5] DOE, "Biomass Cofiring: A Renewable Alternative for Utilities," *Biopower Progr.*, 2000.
- [6] J. L. Prabir Basu, Cen Kefa, *Boiler and Burner Design Theory*. 2000.
- [7] E. December, "Impact of Operating Factors on Boiler," *System*, vol. 3, no. 3, 2006.
- [8] P. Viklund, *Superheater corrosion in biomass and waste fired boilers Characterisation, causes and prevention of chlorine-induced corrosion*. 2013.
- [9] S. Sharpconsultant, *SUPERHEATER CORROSION IN BIOMASS BOILERS: Today's Science and Technology*. 2011.
- [10] Babcock & Wilcox, *Steam It s Generation and Use*. 2005.
- [11] K. Salmenoja and K. Maekelae, "Chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biofuels," 2000.
- [12] D. Tickner and R. Maier, "Design Considerations for Pulverized Coal Fired Boilers Combusting Illinois Basin Coals," 2005.
- [13] P. Pintana and N. Tippayawong, "Predicting ash deposit tendency in thermal utilization of biomass," *Eng. J.*, 2016, doi: 10.4186/ej.2016.20.5.15.